Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Reparto de costos y establecimiento de precios en el uso del agua. Aplicación en zonas del postrasvase Tajo-Segura

Autor: José Candón Fernández

Tutores: Andrés Jimémez Losada y Manuel Ordoñez Sánchez

Dpto. de Matemática Aplicada II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Reparto de costos y establecimiento de precios en el uso del agua. Aplicación en zonas del postrasvase Tajo-Segura

Autor:
José Candón Fernández

Tutores:
Andrés Jiménez Losada
Manuel Ordoñez Sánchez

Dpto. de Matemática Aplicada II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Reparto de costos y establecimiento de precios en el uso del agua. Aplicación en zonas del postrasvase Tajo-Segura

Autor: José Candón Fernández

Tutores: Andrés Jiménez Losada
Manuel Ordoñez Sánchez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia,

A mis amigos,

A mis profesores

Agradecimientos

Quisiera dar las gracias a mi tutores Andrés y Manuel, por su tiempo e implicación. Sin su ayuda no habría sido posible la realización de este trabajo.

Dar las gracias a mi familia y a mis amigos, y en general a todos los que me han dado el apoyo incondicional que necesitaba durante estos duros años de carrera, sin él no habría sido capaz de llegar al final de este camino.

José Candón Fernández
Sevilla, 2019

Resumen

En este trabajo hemos contemplado la problemática del abastecimiento del agua a regiones agrícolas. En particular nos hemos centrado en el trasvase Tajo-Segura la cual es una zona conflicitiva debido a las sequías periódicas de la cuenca del Segura y su dependencia del agua de la cuenca del Tajo. Tanto por una cuenca como por la otra necesitan agua ya que ambas son zonas de regadío con gran necesidad de agua por el carácter hortícola de sus productos. El trasvase propoca conflitos en ambas partes en particular en las épocas de sequía mencionadas anteriormente.

En este trabajo tratamos de dar una solución al problema del coste del agua por parte de los demandantes de la cuenca del Segura que tenga en cuenta tres parámetros.

El primero es el volumen de agua que se necesita.

El segundo es el uso de infraestructuras, las propias del trasvase, para transportar el agua.

El tercero la distancia al punto de recogida de agua.

Hemos planteado una estructura jerárquica en la cual existe un punto de toma del agua que está en el nivel superior. Segundo hemos considerado como coalición al conjunto de demandantes cercanos al punto de recogida de agua, le llamamos nivel 1. Y así sucesivamente.

Sugerimos que el agua que se recoje en cada nivel en la jerarquía provenga de lugares de almacenamiento que estén en el nivel inmediatamente superior.

También hemos construido una función característica que tenga en cuenta estos niveles y recoja el gasto de los paramétros anteriores.

Por último hemos aplicado el valor coalicional de Owen a nuestra función característica el cual tiene en cuenta también la estructura jerárquica del problema.

Este valor nos da el pago que debería realizar cada jugador. Hemos comparado este resultado con el de Shapley sin estructura jerárquica. La conclusión es que este último es más disperso y menos justo que el nuestro.

Abstract

In this work we have contemplated the problem of water supply to agricultural regions. In particular, we have focused on the Tajo-Segura transfer, which is a conflict zone due to the periodic droughts of the Segura basin and its dependence on water from the Tagus basin. Both for one basin and the other need water since both are irrigated areas with great need for water due to the horticultural nature of

their products. The transfer proved confluent on both sides, particularly in the drought periods mentioned above.

In this work we try to give a solution to the problem of the cost of water by the plaintiffs of the Segura basin that takes into account three parameters.

The first is the volume of water needed.

The second is the use of infrastructures, those of the transfer, to transport water.

The third distance to the water collection point.

We have proposed a hierarchical structure in which there is a point of water intake that is in the upper level. Second, we have considered as a coalition all the applicants near the water collection point, we call it level 1. And so on.

We suggest that the water that is collected at each level in the hierarchy comes from storage locations that are at the next higher level.

We have also built a characteristic function that takes into account these levels and collects the expense of the previous parameters.

Finally, we have applied Owen's coalitional value to our characteristic function which also takes into account the hierarchical structure of the problem.

This value gives us the payment that each player should make. We have compared this result with that of Shapley without a hierarchical structure. The conclusion is that the latter is more dispersed and less fair than ours.

Índice

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Notación

$\in$	Perteneciente a
$\notin$	No perteneciente a
:	Tal que
$\cap$	Intersección
$\setminus$	Menos
$\subseteq$	Contenido en
$\emptyset$	Vacío
$<$	Menor que
$>$	Mayor que
$\cup$	Unión
Σ	Sumatorio
S	Coalición

v	Función característica
N	Conjunto de jugadores
	Valor entero
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ATS	Área del acueducto Tajo- Segura
MW	Megavatios
Hm	Hectómetros
Km	Kilómetros
Ha	Hectárea

1 INTRODUCCIÓN

La región de la Península Ibérica a la que pertenece Almería, Alicante y Murcia siempre ha estado de los primeros puestos como una de las zonas con el clima más seco y caluroso de todo el territorio español, debido a los motivos climáticos de la zona. Esto provoca una falta de recursos hídricos por lo que pueden llegar a ser escasos para la agricultura y a veces, para el abastecimiento urbano. Este problema junto a que las tierras de esta zona poseen una alta productividad ha llevado al deseo de aprovechar las tierras para el regadío.

Desde la Edad Media, se ha estado interesado en trasladar agua a esta zona. Para intentar suplir el problema, se realizaron diferentes obras:

- Los "viajes de aguas", que consistía en construir una hilera de pozos unida por una galería subterránea.
- Intentos de trasvases mediante grandes colectores fluviales.
- Trasvase Júcar – Vinalopó.

Sin embargo, hasta el siglo XX no se ha conseguido suavizar la falta de recursos hídricos en esta región. Se construyó una de las mayores obras hidráulicas de ingeniería realizadas en España, tratándose del trasvase del río Tajo al Segura.

El ingeniero madrileño de Caminos, Canales y Puertos Manuel Lorenzo Pardo nació en 1881 y murió en 1953. Fue el que dio a luz la idea del trasvase. Trabajó en el Ministerio de Obras Públicas durante el primer bienio de la II República Española (1931-1936). Recomendó a Indalecio Prieto para que realizase las obras del trasvase en el año 1933 reunido en el Plan de Mejora y Ampliación de los Riegos del Levante. La finalidad de esta obra era suprimir los desequilibrios hidrográficos entre el Norte y el Sur de España. Con esto se potenciaría la riqueza agrícola de las provincias de Valencia, Alicante, Albacete, Murcia y Almería con la puesta en funcionamiento de nuevas hectáreas de regadíos.

2 LA TEORÍA DE JUEGOS COOPERATIVOS

Los juegos en forma de función de partición, introducidos por Lucas y Thrall en 1963 (Thrall, Lucas, 1963), pretenden describir la presencia de algunas externalidades junto con la cooperación de jugadores (económicos o políticos).

Tales externalidades pueden incorporarse a un modelo suponiendo que la recompensa de cada coalición depende no solo de la composición de esta coalición, sino también de la forma en que se organizan todos los jugadores restantes. Los juegos en forma de función de partición generalizan la clase de juegos cooperativos (juegos con utilidad transferible).

Las ganancias o beneficios de los jugadores que participan en un juego cooperativo se pueden calcular de muchas maneras diferentes: el valor más popular e importante es el valor de Shapley (Shapley, 1953). La pregunta obvia es cómo medir los beneficios de los jugadores en los juegos en forma de función de partición. No hay una respuesta única para esta pregunta. Dos propuestas diferentes de generalización del valor de Shapley para la partición de juegos de funciones que encontramos en los artículos de Myerson (1977) y Pham Do y Norde (2007). En ambos documentos, los autores intentan adaptar los axiomas de Shapley a los juegos en forma de función de partición, pero obtienen diferentes resultados.

Los documentos de Bolger (1989), Macho-Stadler, Perez-Castrillo y Wettstein (2007) o de Clippel y Serrano (2008) presentan diferentes enfoques: formulan conjuntos de axiomas que caracterizan el valor de una función de partición en un juego y encuentran el Valor único que satisface esos axiomas. El valor propuesto en el artículo De Clippel y Serrano (2008) parece ser el mismo que en Pham Do y Norde (2007), pero las axiomatizaciones son diferentes.

2.1 **Juegos cooperativos con utilidad transferible**

En la teoría de juegos de coalición, nos centramos en lo que pueden lograr los grupos de agentes, en lugar de los agentes individuales. Dado un conjunto de agentes, un juego cooperativo define qué tan bien puede hacer cada grupo (o coalición) de agentes por sí mismo. No nos preocupa cómo los agentes toman decisiones individuales dentro de una coalición, cómo se coordinan o cualquier otro detalle similar; simplemente llevamos la recompensa a una coalición.

Haremos el supuesto de utilidad transferible: que las recompensas a una coalición se pueden redistribuir libremente entre sus miembros. Esta suposición se cumple siempre que exista una moneda universal que se utiliza para el intercambio en el sistema, y significa que a cada coalición se le puede asignar un valor único como recompensa.

Un juego cooperativo con utilidad transferible es un par (N, v), where

- N es un conjunto finito de jugadores indexados por i
- $v : 2^N \rightarrow R$ asocia a cada coalición $S \subseteq N$ un pago v(S) que los componentes de la coalición se reparten entre ellos. La función v es también llamada función característica, y el pago de la coalición su beneficio. Asumimos que $v(\emptyset) = 0$.

Normalmente, la teoría de juegos cooperativos se utiliza para responder dos preguntas fundamentales:
(1) ¿Qué coalición se formará?
(2) ¿Cómo debería esa coalición dividir su recompensa entre sus miembros?
Resulta que la respuesta a (1) es a menudo "la gran coalición", el nombre que se le da a la coalición de todos los agentes en N, aunque esta respuesta puede depender de haber tomado la decisión correcta sobre (2). Sin embargo, antes de continuar con la respuesta a estas preguntas, proporcionamos un ejemplo de juego de coalición al que nos referiremos a lo largo de la sección.

Ejemplo (Juego de votación). Un parlamento está compuesto por cuatro partidos políticos, A, B, C y D, que tienen 45, 25, 15 y 15 representantes, respectivamente. Deben votar sobre si aprobar una factura de gasto de 100 millones y cuánto de esta cantidad debe ser controlada por cada una de las partes. Se requiere un voto mayoritario, es decir, un mínimo de 51 votos para aprobar cualquier legislación, y si el proyecto de ley no se aprueba, entonces todas las partes obtienen cero para gastar. Más generalmente, en un juego de votación, hay un conjunto de agentes N y un conjunto de coaliciones $W \subseteq 2^N$ ganadoras, es decir, coaliciones que son suficientes para la aprobación del proyecto de ley si todos sus miembros lo eligen. A cada coalición $S \in W$, asignamos $v(S) = 1$, y a las demás asignamos $v(S) = 0$.

CLASES DE JUEGOS COALICIONALES

En esta sección definiremos algunas clases importantes de juegos de coalición, que tienen aplicaciones interesantes y propiedades formales útiles. Comenzamos con la noción de superaditividad, una propiedad que a menudo se asume para los juegos de coalición.

(Juego superaditivo). Un juego $G = (N, v)$ es superaditivo si para todos $S, T \subset N$, si $S \cap T = \emptyset$, entonces $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$.

La superaditividad se justifica cuando las coaliciones siempre pueden funcionar sin interferir unas con otras; por lo tanto, el valor de dos coaliciones no será menor que la suma de sus valores individuales. Tenga en cuenta que la superaditividad implica que el valor de todo el conjunto de jugadores (la "gran coalición") no es menor que la suma del valor de cualquier conjunto de coaliciones no superpuestas. En otras palabras, la gran coalición tiene la mayor recompensa entre todas las estructuras de coalición. El ejemplo de votación que dimos antes es un juego superaditivo.

Llevando la no interferencia a través de coaliciones al extremo, cuando las coaliciones nunca pueden afectarse entre sí, ya sea de manera positiva o negativa, entonces tenemos juegos aditivos (o no esenciales).

(Juego aditivo). Un juego $G = (N, v)$ es aditivo (o no esencial) si para todo $S, T \subset N$, si $S \cap T = \emptyset$, entonces $v(S \cup T) = v(S) + v(T)$.

Una clase relacionada de juegos es la de juegos de suma constante.

(Juego de suma constante). Un juego $G = (N, v)$ es una suma constante si para todos los $S \subset N$, $v(S) + v(N \setminus S) = v(N)$.

Tenga en cuenta que cada juego aditivo es necesariamente una suma constante, pero no al revés. Al igual que en la teoría de juegos no cooperativos, los juegos de suma constante más estudiados son los juegos de suma cero.

Una subclase importante de juegos superaditivos son los juegos convexos.

(Juego convexo). Un juego $G = (N, v)$ es convexo si para todos $S, T \subset N$, $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) - v(S \cap T)$.

Claramente, la convexidad es una condición más fuerte que la superaditividad. Si bien los juegos convexos parecen ser una clase muy especializada de juegos de coalición, en realidad estos juegos no son tan raros en la práctica. Los juegos convexos tienen una serie de propiedades muy útiles.

Finalmente, presentamos una clase de juegos de coalición con restricciones en los valores que los pagos pueden tomar.

(Juego simple). Un juego $G = (N, v)$ es simple si para todos $S \subset N$, $v(S) \in \{0, 1\}$.

Los juegos simples son útiles para modelar situaciones de votación, como las que se describen en el **Ejemplo** En los juegos simples a menudo agregamos el requisito de que si una coalición gana, entonces todos los conjuntos más grandes también son coaliciones ganadoras (es decir, si $v(S) = 1$, entonces para todos $T \supset S$, $v(T) = 1$). Esta condición puede parecer implicar superaditividad, pero no lo hace. Por ejemplo, la condición se cumple con un juego de votación en el que solo el 50% de los votos son necesarios para aprobar un proyecto de ley, pero dicho juego no es superaditivo. Considere dos coaliciones que ganan la separación S y T; cuando se unen para formar la coalición $S \cup T$ no logran al menos la suma de los valores que logran por separado como lo requiere la superaditividad.

Cuando los juegos simples también son una suma constante, se llaman juegos simples apropiados. En este caso, si S es una coalición ganadora, $N \setminus S$ es una coalición perdedora.

Los Pagos. La cuestión central en la teoría de juegos de coalición es la división de la recompensa a la gran coalición entre los agentes. Este enfoque en la gran coalición se justifica de dos maneras. Primero, dado que muchos de los juegos más ampliamente estudiados son superaditivos, la gran coalición será la coalición que logre la mayor recompensa de todas las estructuras de coalición y, por lo tanto, podemos esperar que se forme. Segundo, puede que no haya otra opción para los agentes sino formar la gran coalición; por ejemplo, los proyectos públicos a menudo están legalmente obligados a incluir a todos los participantes.

Sin embargo, si es fácil decidir concentrarse en la gran coalición, es menos fácil decidir cómo esta coalición debe dividir sus beneficios. Vamos a nombrar una variedad de conceptos de solución que proponen diferentes formas de realizar esta división.

Antes de presentar los conceptos de la solución, es útil introducir alguna terminología. Primero, $\psi: N \times R^{2N} \rightarrow R^N$ denota una asignación de un juego de coalición (es decir, un conjunto de agentes N y un juego v a un vector de N valores reales, y sea $\psi_i(N, v)$ el valor real. Denotar un vector de N valores reales como $x \in R^N$. Cada x_i denota la parte del pago de la gran coalición que recibe el agente $i \in N$. Cuando el juego de coalición (N, v) se entiende desde el contexto, escribimos x como una abreviatura de (N, v).

Ahora podemos dar algunas definiciones básicas sobre la división de pagos.

(Pago factible). Dado un juego de coalición (N, v), el conjunto de beneficios factible es definido como $\{x \in R^N \mid x_i \leq v(N), i \in N\}$.

En otras palabras, el conjunto de pagos factibles contiene todos los vectores de pagos que no distribuyen más que el valor de la gran coalición.

(Pre-imputación). Dado un juego de coalición (N, v), el conjunto de imputación, denotado por P, se define como $\{x \in R^N \mid \sum x_i = v(N)\}$.
Podemos ver el conjunto de imputación como el conjunto de beneficios factibles que son eficientes, es decir,
distribuyen todo el valor de la gran coalición.

(Imputación). Dado un juego de coalición (N, v), el conjunto de imputación, C, se define como $\{x \in P \mid \forall i \in N, x_i \geq v(i)\}$. Bajo un imputación, cada agente tiene garantizado un pago de al menos el total que el conseguiría jugando sólo.

El valor de Shapley

Quizás la respuesta más directa a la pregunta de cómo deben dividirse los pagos es que la división debe ser justa. Comencemos estableciendo axiomas que describen lo que significa la equidad en nuestro contexto.
Primero, diremos que los agentes i y j son intercambiables si siempre contribuyen con la misma cantidad a cada coalición de los otros agentes. Es decir, para todas las S que no contienen ni i ni j, $v(S \cup \{i\}) = v(S \cup \{j\})$. El axioma de simetría establece que dichos agentes deben recibir los mismos pagos.
(Simetría). Para cualquier v, si i y j son intercambiables entonces $\psi i(N, v) = \psi j(N, v)$.

Segundo, diremos que un agente i es un jugador ficticio si la cantidad que contribuye a cualquier coalición es exactamente la cantidad que puedo lograr solo. Es decir, para todas las S tales que, $i \notin S, v(S \cup \{i\}) - v(S) = v(\{i\})$. El axioma del jugador ficticio establece que los jugadores ficticios deben recibir un pago igual a la cantidad exacta que logran por su cuenta.
(Dummy player). Para cualquier v, si i es un jugador ficticio, entonces $\psi_i(N, v) = v(\{i\})$.

Finalmente, consideremos dos funciones características diferentes v_1 y v_2, que involucran el mismo conjunto de agentes. El axioma de aditividad establece que si volvemos a modelar la configuración como un juego único en el que cada coalición S obtiene una recompensa de v_1 (S) + v_2 (S), los pagos de los agentes en cada coalición deben ser la suma de los pagos que realizan. Habría logrado para esa coalición bajo los dos juegos separados.

(Aditividad). Para cualesquiera dos v_1 y v_2, tenemos para cualquier jugador i que ψ_i (N, v_1 + v_2)=ψ_i (N, v_1 +v_2) + ψi (N, v_1 + v_2), donde el juego (N, v_1 + v_2) se define por (v_1 + v_2) (S) = v_1 (S) + v_2 (S) para cada coalición S.

Si aceptamos estos tres axiomas, se nos lleva a un resultado sólido: siempre hay exactamente una pre-imputación que los satisface.

Teorema Dado un juego de coalición (N, v), hay una pre-imputación única φ (N, v) = φ (N, v) que satisface la simetría, jugador ficticio, axiomas de aditividad.

Tenga en cuenta que nuestro requisito de que φ (N, v) sea una imputación previa implica que la división de pagos sea viable y eficiente.

¿Qué es esta división de pagos única φ (N, v)? Se llama el valor de Shapley y se define de la siguiente manera.

(valor de Shapley). Dado un juego de coalición (N, v), el valor Shapley del jugador i viene dado por

$$\phi_i(N, v) = \frac{1}{n!}\sum_{S\subset N\setminus i} s!\,(n - s - 1)!\,(v(S \cup i) - v(S))$$

Se puede considerar que esta expresión captura la "contribución marginal promedio" del agente i, donde promediamos todas las diferentes secuencias según las cuales se podría formar la gran coalición a partir de la coalición vacía. Más específicamente, imaginemos que la coalición se ensambla comenzando con el conjunto vacío y agregando un agente a la vez, y el agente que se agrega se elige de manera uniforme y aleatoria. Dentro de cualquier secuencia de adiciones, mire la contribución marginal del agente en el momento en que se agrega. Si se agrega al conjunto S, su contribución es [v (S ∪ {i}) - v (S)]. Ahora multiplicamos esta cantidad por diferentes formas en que el conjunto S pudo haberse formado antes de la adición del agente i y por (n-s-1)! diferentes maneras en que los agentes restantes podrían agregarse después. Finalmente, sumamos todos los conjuntos S posibles y obtenemos un promedio al dividir por n !,

Para un ejemplo concreto del valor de Shapley en acción, consideremos el juego de votación dado en el ejemplo anterior. Recordemos que los cuatro partidos políticos A, B, C y D tienen 45, 25, 15 y 15 representantes, respectivamente, y se requiere una mayoría simple (51 votos) para aprobar la factura de gastos de 100 millones. Si queremos analizar cuánto dinero es justo que exija cada parte, podemos calcular los valores de Shapley del juego. Tenga en cuenta que cada coalición con 51 o más miembros tiene un valor de 100 millones, y otros tienen 0. En este juego, por lo tanto, los partidos B, C y D son intercambiables, ya que agregan el mismo valor a cualquier coalición. (Agregan 100 millones a las coaliciones {B, C}, {C, D}, {B, D} que no incluyen a {A}; agregan 0 a todas las demás coaliciones.) El valor de Shapley de A viene dada por:

$\varphi_A = (3)\,(4-1)!\,(2-1)!\,(100-0)\,/4! + (3)\,(4-3)!\,(3-1)!\,(100-0)/\,4! + (1)\,(4-4)!\,(4-1)!\,(100-100)\,/4!$
$=$ 50 millones.

Tengamos en cuenta que para estos cálculos escalamos la función de valor a 100 para ganar coaliciones y 0 para perder coaliciones con el fin de alinearlo mejor con nuestro ejemplo.

2.2 Juegos cooperativos con estructura jerárquica

En la literatura existen modelos que tienen en cuenta relaciones de precedencia o prioridad entre agentes o estructuras de permiso. En primer lugar vamos a describir el modelo conjuntivo propuesto en Gilles et al (1992). Una estructura de permiso está dada por una aplicación $H : N \to 2^N$ tal que $i \notin H(i)$, para cada $i \in N$. Cada agente $j \in H(i)$ se dice que es un subordinado directo del agente $i\ en\ H$. El conjunto de agentes

$$H^{-1}(i) = \{j \in N :\ i \in H(j)\}$$

es el conjunto de los superiores directos de i. Sea H una estructura de permiso y $S \subseteq N$. El conjunto de todos lo subordinados directos de los miembros de $S,\ \cup_{i\in S} H(i)$, se denota por $H(S)$. Se dice que una coalición S es conjuntivamente autónoma si $S \cap H(N \setminus S) = \emptyset$. Es decir, la coalición S no contiene ningún agente que sea un subordinado directo de algún agente de $N \setminus S$. La coalición S contiene a todos sus superiores y, en consecuencia, puede operar. La parte conjuntivamente autónoma de S está dada por

$$\gamma_H(S) = \{i \in S :\ H^{-1}(i) \subseteq S\}.$$

La coalición $\gamma_H(S)$ es, claramente, la sub-mcoalición de S maximal que es conjuntivamente autónoma. Si una coalición S es conjuntivamente autónoma, entonces $\gamma_H(S) = S$.

A continuación formalizamos nuestro modelo jerárquico. Considérese $N = \{1, \dots, n\}$ un conjunto finito de jugadores y sea $P = \{P_1, \dots, P_{m+1}\}$ una partición de N, con $m < n - 1$, la estructura de prioridad dada por $P = \{P_1 > P_2 > \ldots > P_{m+1}\}$. Esta estructura jerárquica implica que los jugadores de P_1 tienen prioridad sobre los agentes de $N \setminus P_1$, los agentes de P_2 tienen prioridad sobre los jugadores de $N \setminus (P_1 \cup P_2)$, y así sucesivamente.

Un juego cooperativo con estructura jerárquica viene definido a través de la terna (N, v, P) siendo (N, v) un juego con utilidad transferible y P una estructura de prioridad. A la terna (N, v, P) se le denominará de aquí en adelante estructura jerárquica. A la familia de juegos con conjunto de jugadores N y estructura de prioridad P se le denomina ${G^n}_P$.

El juego jerárquico (N, v_P) asociado a la estructura jerárquica (N, v, P), siendo $P = \{P_1 > P_2 > \ldots > P_m\}$ como

$$v_P(S) = ((v_{FP_1})_{FP_2})_{\ldots})_{FP_m}(S)$$

donde

$$v_{FT}(S) = v((S \cap T) \cup (N \setminus T)) - v(N \setminus T) + v(S \cap (N \setminus T)), \text{ para } S \subseteq N.$$

A v_P , a veces se denotará por $v_{1\ldots m}$. Como se puede observar este juego se puede obtener en distintos pasos: primero se crea el juego en el que la estructura de prioridad es $\{P_1 > N \setminus P_1\}$, es decir el juego (N, v_1); a continuación sobre esta estructura de prioridad se determina otra estructura de prioridad en $N \setminus P_1$, y así sucesivamente.

Una regla de reparto jerárquica φ es una aplicación $\varphi : {G^n}_{P_>} \rightarrow R^n$ que a cada estructura jerárquica (N, v, P) le asigna un vector en R^n.

El valor jerárquico de Shapley, H, es aquella regla jerárquica que asigna a cada (N, v, P) el valor de Shapley asociado al juego jerárquico (N, v_P), es decir,

$$H(N, v, P) = Sh(N, v_P).$$

2.3 Valor de Owen para juegos cooperativos con una estructura de coalición

Consideremos un modelo de juegos cooperativos con una estructura de coalición, la cual viene dada por:

- $N = \{1,2, \ldots, n\}$ - El conjunto de jugadores;

- $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_m\}$ - Una partición del conjunto de jugadores. Las llamaremos pre-coaliciones.

- $M = \{1, 2, \ldots, m\}$ - El conjunto de pre-coaliciones;

- $v : 2^N \rightarrow R$ - la función característica.

Este modelo fue introducido por Owen in 1977. Owen define un valor, el cual es una modificación del valor de Shapley, reflejando el impacto de una división a priori de jugadores en su comportamiento durante el juego. El valor de Owen de un jugador j perteneciente a una pre-coalición P_i viene dado por:

$$\phi_j(v) = \sum_{\substack{H \subset M \\ i \notin H}} \sum_{\substack{S \subset P_i \\ j \notin S}} \frac{h!\,(m-h-1)!\,s!\,(p_i-s-1)!}{m!\,p_i!} (v(H \cup S \cup j) - v(H \cup S))$$

Donde: $h = |H|, m = |M|, s = |S|$ y $p_i = |P_i|$.

El concepto que subyace en el valor de Owen es tal que al formar la gran coalición no se permiten algunas permutaciones. Solo tenemos en cuenta las permutaciones que satisfacen la condición de que los jugadores de una pre-coalición determinada aparezcan juntos uno por uno. Significa que tenemos que establecer primero el orden de las pre-coaliciones y luego el orden de los jugadores en cada pre-coalición.

2.4 Ejemplo de cómo calcular el valor de Owen

Supongamos N={1,2,3}, M={C1={1},C2={23}}, P={{1},{23}} y v(S)=|S|

Ow_2(N,v,P)=…

1. Como 2 está en C2 escogemos R=∅ o R=C1={1}
2. Buscamos para cada R anterior los posibles subconjuntos de C2\{2}={∅, 3}
    a. R={∅},
        i. T=∅ t=0, p2=2,r=0,m=2,Pr=∅,

1. [(t!(p2-t-1)!r!(m-r-1)!)/(p2!m!)]v(Pr∪ ∅ ∪2)-v(Pr∪ ∅)=[(0!(2-0-1)!0!(2-0-1)!)/2!2!](v(2)-v(∅))=v(2)/4=1/4.

b. R={∅},

i. T{3) t=1, p2=2,r=0,m=2,Pr=∅,

1. [(t!(p2-t-1)!r!(m-r-1)!)/(p2!m!)]v(Pr∪ ∅ ∪2)-v(Pr∪ ∅)=[(1!(2-1-1)!0!(2-0-1)!)/2!2!](v(23)-v(3))=1/4.

3 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS IMPLICADAS

3.1 3.2 Cuenca hidrográfica del Tajo

La cuenca hidrográfica del Tajo se extiende tanto por territorio español como portugués. Fluye desde el Oeste de la Península Ibérica y desemboca al océano Atlántico por tierras portuguesas, exactamente por la provincia de Lisboa. Su extensión es de 78.467 km². Su distribución se divide un 66% por suelo español, al que le corresponden 55.645 km² y un 34% por suelos portugueses, 22.822 km².

Dicha cuenca se encuentra situada en el tercer puesto siendo el primero la del río Duero con una distancia de 98.258 km² y el segundo puesto la del río Ebro con un total de 82.587 km².

Tabla 3.1. Medidas del rio Tajo

Medida	Tajo España	Tajo total	% España/total
Longitud (km)	910	1092	83,3

Superficie (km²)	55.645	83.678	66
Población (hab)	7.000.000	10.000.000	70

La cuenca hidrográfica del Tajo es la que tiene un mayor peso poblacional de todo el territorio español y peninsular debido a que es una de las cuencas que tiene una mayor dimensión y un caudal. Por ello, es una de las cuencas más importantes del suelo peninsular. El rio Tajo nace en la sierra de Albarracín en el que avanza por el centro del Macizo Hespérico unos 910 kilómetros por territorio español, con una longitud total de 1.092 kilómetros hasta el estuario Mar de la Paja, junto a Lisboa, lugar donde desemboca. Así recorre la península de este a Oeste. La cuenca queda encerrada entre la cordillera Central al Norte, los montes de Toledo y la sierra de Montánchez al Sur y la cordillera Ibérica al Este. Respecto a las cuencas, la del Ebro y el Duero quedan al Norte, limita por el Sur con la del Guadiana y la del Ebro y Júcar por el Este. Los ríos Erjas y Server delimitan por el límite occidental español en el que estos ríos forman la frontera con Portugal.

Figura 3.1. Mapa físico de la cuenca del Tajo

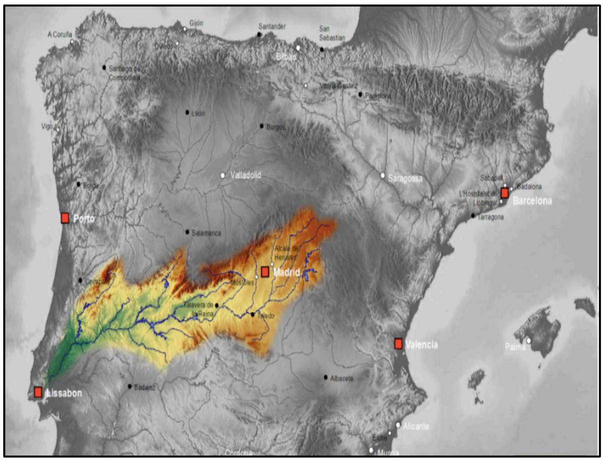
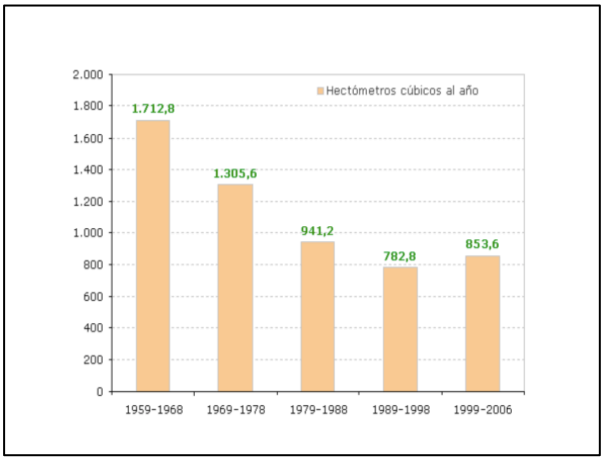


Figura 3.2. Caudal en el Alto Tajo



En la cuenca del Tajo únicamente los picos de las montañas alcanzan una cota superior a 2.000 metros sobre el nivel del mar (a partir de ahora msnm) en el Sistema Central, así como ejemplo, en la sierra de Béjar, Gredos y sierra de Guadarrama. En la zona de la cordillera Ibérica pueden llegar a alcanzar una altitud de 1.800 msnm en los montes Universales, teniendo cotas inferiores en los montes de Toledo. En la zona inferior de la cuenca las altitudes son muy inferiores aunque con grandes cambios de altura, disminuyendo desde el Este hacia el Oeste EN los llanos de La Alcarria las cotas rondan los 1.000 msnm, en Aranjuez son inferiores a los 500 msnm, en Navalmoral de la Mata están por debajo de los 300 msnm y en las zonas próximas a Coria superan los 200 msnm. Debido a la diferencia de altitud entre las cordilleras superiores e inferiores, algunos afluentes del Tajo han cautivado parte de la original cuenca del Duero por consecuencia de una erosión remontante favorecido por los mayores gradientes que determina la diferencia entre ambas fosas.

La red de ríos tributarios del Tajo es muy disimétrica, los de la margen derecha son los que aportan caudales más abundantes, al recoger las aportaciones del Sistema Central y de la Cordillera Ibérica; los de la margen izquierda son en general más cortos y de escaso caudal, en especial los que tienen su origen en los Montes de Toledo.

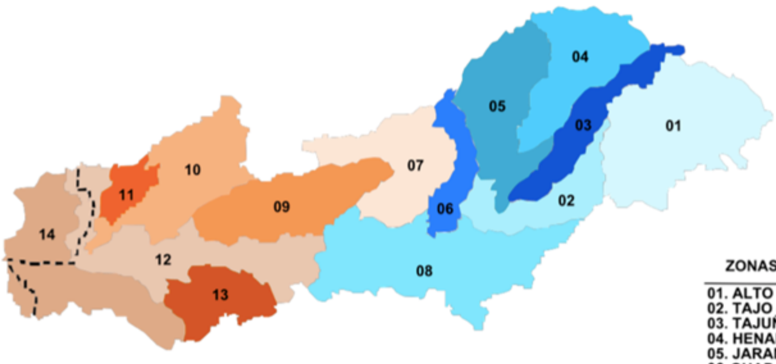
La distribución de los ríos secundarios del Tajo es bastante asimétrica, los de la margen izquierda tienen longitudes inferiores y son poco caudalosos que los de la margen derecha. El caudal de los ríos de la derecha son bastante más caudalosos debido a que el Sistema Central y la cordillera Ibérica son los aportadores de agua.

En la Tabla 3.2 podemos ver los ríos de mayor longitud en la cuenca del Tajo.

Tabla 3.2. Ríos de mayor longitud de la cuenca del Tajo

Nombre	Longitud (km)
Río Tajo	9105
Río Tajuña	254,1
Río Alagón	208,6
Río Jarama	204,9
Río Alberche	193,8
Río Tiétar	175,7
Río Henares	172,9
Río Guadarrama	131,8
Río Salor	126,3
Río Almonte	122,9
Río Guadiela	109,5
Río Gallo	107,1
Río Algodor	101,2
Río Manzanares	92

Figura 3.3. Subcuencas del tío Tajo



ZONAS	Superficie. (km^2)
01. ALTO TAJO:	7.417,84
02. TAJO entre Bolarque-Aranjuez.	2.780,93
03. TAJUÑA.	2.607,82
04. HENARES.	4.136,13
05. JARAMA.	4.801,95
06. GUADARRAMA.	1.708,81
07. ALBERCHE.	4.108,81
08. TAJO MEDIO.	7.590,41
09. TIÉTAR.	4.459,10
10. ALAGÓN.	4.405,72
11. ÁRRAGO.	1.019,58
12. TAJO BAJO Y ERJAS.	5.948,73
13. ALMONTE.	2.463,15
14. TAJO internacional y SALOR.	5.491,87

3.2 3.2 Cuenca hidrográfica del Segura

El río Segura está situado en el Sureste de España. Nace en la sierra de Segura, situado en el municipio de Santiago Pontones en la provincia de Jaén, a 5 kilómetros de Pontón Bajo, en la aldea llamada Fuente Segura. Desde su nacimiento hasta su desembocadura en el mar Mediterráneo por Alicante, exactamente por Guardamar del Segura, cuenta con un recorrido de 325 kilómetros. Por orden, las provincias por las que pasa son: Jaén, Albacete, Murcia y Alicante. Su cuenca hidrográfica tiene una superficie de 18.870 km^2 que incluye principalmente territorios de Murcia y de las comunidades circundantes que son Andalucía, Comunidad Valenciana y Castilla La Mancha.

Es un río muy conocido por el desequilibrio de sus aguas, tiempos en los que, por culpa de las crecidas, causa grandes inundaciones y largos periodos de tiempo de sequía. También tuvo problemas de contaminación unos años atrás en los que gracias a grandes inversiones en depuración y recuperación se consiguió significantes mejoras.

Se considera un río pluvial mediterráneo en el que las crecidas, normalmente, tienen lugar en otoño, aunque en el curso alto está considerado un río pluvio-nival. En su cuenca hidrográfica cuenta con unos veinte embalses en los el nivel máximo lo presentan en otoño y el nivel más bajo en verano debido a razones meteorológicas y a la demanda de abastecimientos de riego. La media del caudal en la desembocadura es inferior a 1 m³/s.

Gracias a las aportaciones de los recursos hídricos del trasvase del Tajo con el Segura, que llegan al embalse del Talave en el afluente del segura, río mundo, el caudal del segura se está viendo crecer en la Vega Alta. De aquí el agua va hacia el embalse de Azud de Ojós en el que el caudal disminuye en gran medida debido a la bifurcación del canal del postrasvase, el canal que tiene dirección hacia el Este para abastecer Alicante y Campo de Cartagena, y el del oeste que se dirige hacia Almería y sus alrededores para el abastecimiento urbano, agrícola e industrial.

Tabla 3.3. Caudal medio río Segura en diferentes puntos.

Caudal medio	
Punto de aforo	Caudal (m^3/s)
Cenajo	17,1
Cieza	26,3
Orihuela	5
Guardamar del Segura	1

Los principales afluentes y subafluentes del río Segura, ordenado desde su nacimiento a la desembocadura, son:

Por la derecha:

- Río Zumeta
- Río Taibilla, 2.95 m³/s
- Río Alhárabe, 0.20 m³/s
    - Río Benamor
- Río Argos, 0.5 m³/s
- Río Quípar, 0.79 m³/s
- Río Mula, 5.1 m³/s
    - Río Pliego
- Rambla Salada

- Rio Guadalentín, Sangonera o Reguerón, 1.35 m³/s
    - Rambla del Bosh
    - Rambla Nogalte
    - Río Luchena
    - Río Turrilla
    - Rambla Torrealvilla

Por la Izquierda:

- Río Madera
- Río Tus, 0.15 m³/s
- Río Mundo, 20.42 m³/s
    - Río Bogarra o Madera
- Rambla del Judío
- Rambla del Moro
- Rambla del Tinajón
- Rambla de Abanilla

3.3 3.3 Trasvase Tajo-Segura

Para suavizar la falta de agua en las regiones del Sureste español, se construyó una de las mayores obras hidráulicas de ingeniería realizadas en España, tratándose del trasvase de los ríos Tajo y Segura. Se planificó en el año bajo la dirección de Manuel Lorenzo Pardo y está recogido dentro del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. En los años sesenta se elaboraron todos los estudios y proyectos y en 1968 se dieron por aprobados todos los requisitos por lo que se autorizó la realización del Acueducto Tajo-Segura. Su inauguración fue en el año 1979 siendo el 31 de Marzo su primer envío de agua hacia la zona Sureste española.

A través de esta obra se recoge agua de los embalses de Entrepeñas y Buendía, situados en las provincias de Guadalajara y Cuenca respectivamente, con una capacidad total de 2443 hectómetros cúbicos. El canal por el que se conducen las aguas hasta el final del trasvase consta de tramos a través de túneles y tramos en acueductos con una capacidad de 33 m³/s.

En 1956 se terminó de construir la presa de Entrepeñas, sobre el río Tajo, que cuenta con un volumen de 804 hm^3, mientras que la presa de Buendía se terminó en 1957, sobre el río Guadiela, con un volumen de 1639 hm^3.

Las aguas que se trasvasan pasan de los embalses de Entrepeñas y Buendía al embalse de Bolarque en la bujeda, situado en el río Tajo, para así enlazarlo mediante la estructura básica del trasvase (Acueducto Tajo-Segura), con una longitud de 292 kilómetros, a un embalse del río mundo, afluente del Segura, llamado Talave (Albacete).

El conjunto de todos estos embalses permiten regular las aguas que proceden del Alto Tajo aminorándolas. Antes de esto, se provocaban grandes crecidas que se aprovechaban para energía hidroeléctrica.

Aguas debajo de los embalses de Entrepeñas y Buendía, se encuentra el de Bolarque en el que se tiene que impulsar el agua hasta el de la Bujeda. Este embalse es una gran balsa que se encuentra en la sierra de Altomira, con una capacidad de aproximadamente 7 hm^3. Para esta impulsión se construyeron dos grandes tuberías hechas de acero de unos 3 metros de diámetro con una longitud de 1070 metros de largo. Estas tuberías tienen que elevar el agua a una altura de 245 metros hasta Altomira.

Figura 3.4. Embalse y central de Bolarque y tuberías del trasvase Tajo-Segura

Llegado aquí, el agua continúa por un canal de capacidad 33 m^3/s por el que a su paso tiene once túneles y diez acueductos hasta el embalse de Alarcón. De este tramos, se pueden destacar el del Cigüela de unos 6 kilómetros longitud aproximadamente y el del Riánsares de un poco menos de 3 kilómetros de longitud.

A partir de este embalse, las infraestructuras atraviesan la comunidad autónoma de Castilla La Mancha hasta llegar al túnel del Talave. Dicho túnel estuvo considerado el mayor de toda Europa Occidental. Tiene un diámetro mayor de cuatro metros y aproximadamente unos 32 kilómetros de largo. Al final del túnel, el agua se dirige hacia el embalse del Talave, situado en la cuenca del Segura.

Con este acueducto se permitiría trasvasar anualmente 600 hm^3 de los cuales 155 hm^3 serian para abastecimiento y 445 hm^3 para riegos. Después de treinta años desde el primer trasvase, se habían trasvasado anualmente una media de 350 hm^3.

A parte de lo que se pretendía suministrar originalmente, actualmente, el trasvase Tajo-Segura también se utiliza para el abastecimiento al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, situado en la provincia de Ciudad Real. Está previsto que también se pueda abastecer algunas centros urbanos de la cuenca del Guadiana. Otra utilidad que se le da al trasvase es el transporte de agua desde Alarcón hasta Albacete y Los Llanos de Albacete para su abastecimiento y riegos.

La Confederación Hidrográfica del Tajo mediante el Área de Acueducto Tajo-Segura (ATS) es la encargada de la conservación y explotación del trasvase, también se encarga de la gestión técnica y económica del ATS desde que se recoge el agua en el Tajo hasta que llega al embalse de Talave.

El Área ATS es encargada de la realización de los presupuestos de conservación, así como la realización de lo que debe pagar cada usuario. También le corresponde la dirección y seguimiento de las obras que componen este servicio.

De la política de aprovechamiento del Trasvase Tajo-Segura, de los estudios y propuestas, de la inspección y la organización de las Confederaciones Hidrográficas se encarga la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura. Está compuesta por representantes de los organismos de gestión de las cuencas del Tajo y del Segura. Deciden cuántos hectómetros cúbicos pueden ser trasvasados de una cuenca a otra. En determinadas ocasiones hidrológicas excepcionales esta determinación la tendrá el ministro que esté asignado en el campo del agua.

En el Plan Hidrológico del Tajo se recogen los volúmenes y caudales de agua que se pueden llegar a trasvasar de la cuenca del Tajo. Dependiendo de los volúmenes que tengan los embalses de Entrepeñas y Buendía se dará paso a un trasvase mayor, menor o ninguno. Cuando los dos embalses no tengan una suficiente existencia de agua, es decir, no superen el umbral de seguridad para poder garantizar sus propios consumos no se podrá realizar trasvase ninguno.

3.3.1 Reglas de gestión del trasvase

Mediante la Ley 21/2013, de 9 de Diciembre, de evaluación ambiental, se realizaron modificaciones en la regulación del trasvase. En función de la cantidad de agua que tengan los embalses de Buendía y Entrepeñas a principios de cada mes se establecerán los siguientes niveles. El trasvase máximo anual total es de 650 hm^3, de los cuales 600 van dirigidos al Segura y 50 al Guadiana.

Se establecerá el nivel 1 si las existencias de ambos embalses sean iguales o mayores que 1300 hm^3, o cuando ambos embalses tengan unos entrantes conjuntos, en los últimos doce meses, iguales o mayores que 1200 hm^3. Por lo tanto, se autorizará un trasvase de 60 hm^3 al mes.

El nivel 2 se establecerá cuando los volúmenes existentes sean inferiores a los del nivel 1 sin llegar a los volúmenes del siguiente nivel. En este caso se autorizará un trasvase mensual de 38 hm^3.

El siguiente nivel, el nivel 3, se dará cuando a comienzos de cada mes, no superen los valores de la siguiente tabla (Tabla 3.4).

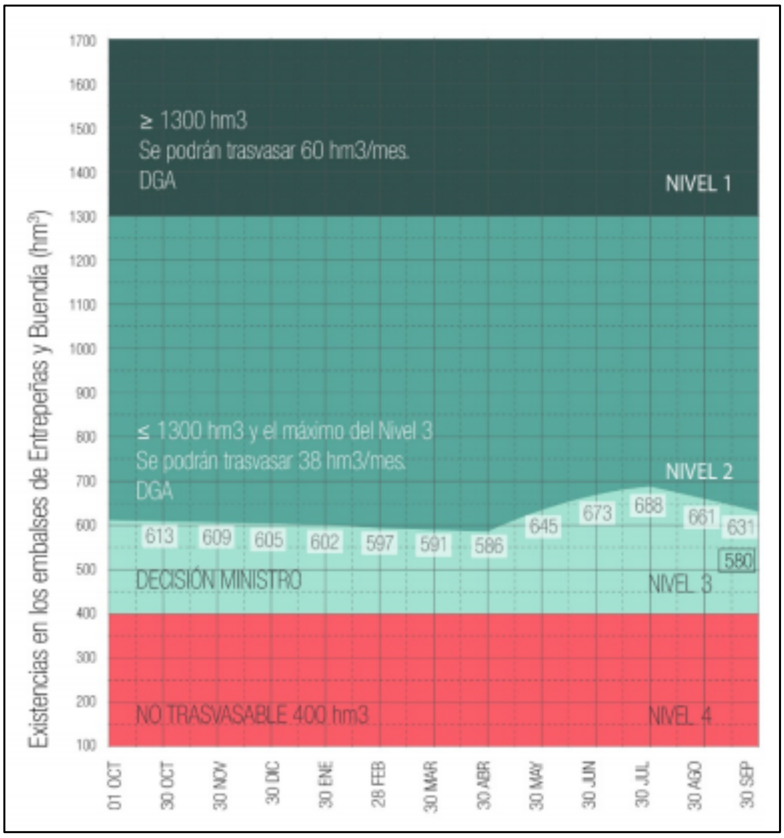
Tabla 3.4. Hectómetros cúbicos trasvasables del nivel 3

Mes	Hm^3	Mes	Hm^3
Enero	602	Julio	688
Febrero	597	Agosto	661
Marzo	591	Septiembre	631
Abril	586	Octubre	613
Mayo	645	Noviembre	609
Junio	673	Diciembre	605

Luego, en este nivel, se autorizará un trasvase mensual de hasta 20 hm^3.

El nivel 4 se dará cuando los volúmenes conjuntos de los embalses no superen la cantidad de 400 hm^3, en el cual no se realizará trasvase.

Figura 3.5. Reglas de gestión del trasvase Tajo-Segura (2014)



3.3.2 Infraestructuras principales

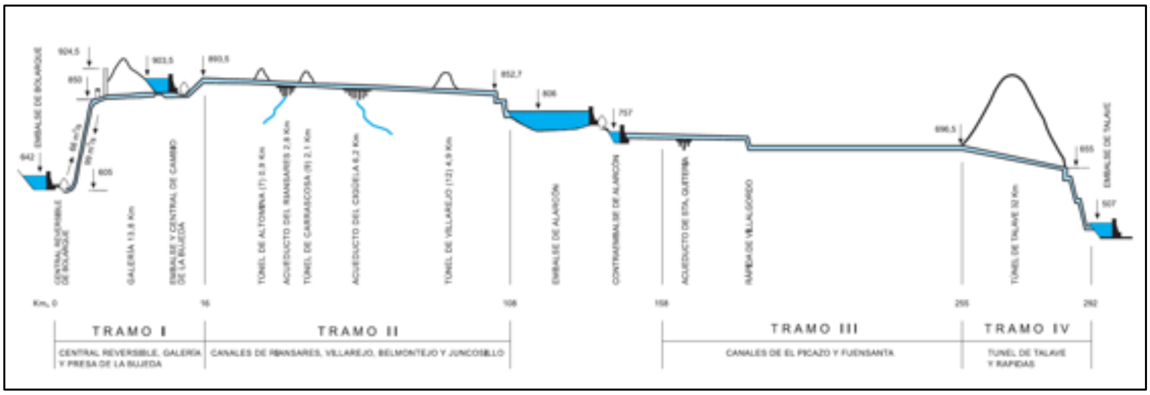
- Los embalses de Entrepeñas y Buendía de capacidad 804 hm³ y 1639 hm³ respectivamente. Están conectados entre ellos mediante un túnel que permite el traspaso de agua del embalse de Entrepeñas al de Buendía.

- El embalse de Bolarque con una capacidad de unos 30 hm³.
- La elevación reversible de Altomira que permite elevar el agua de la presa de Bolarque hasta el embalse de La Bujeda. Ayudado mediante una doble tubería a pasar un desnivel de 245 metros. El bombeo se efectúa en la central de Bolarque II capaz de bombear 66 m³/s con una potencia máxima de 208 MW. Como es reversible, consiste en elevar desde Bolarque hasta La Bujeda y turbinar en el otro sentido para producir electricidad, 400 MW.

- Un canal que empieza en La Bujeda y que está constituida por dos partes. La primera que conecta, mediante acueductos y túneles, el embalse de La Bujeda con el embalse de Alarcón, en la cuenca del Júcar. Y la segunda, que conecta el embalse de Alarcón con el embalse del Talave. Esta parte consta esencialmente del túnel del Talave que una longitud aproximada de unos 32 kilómetros, con una profundidad que oscila entre los 150 y 320 metros. Al pasar por el túnel continúa hasta llegar finalmente al embalse sobre el río Mundo. Hay varias plantas de producción de energía hidroeléctrica.

Figura 3.6. Trazado acueducto Tajo-Segura

Figura 3.7. Perfil longitudinal del acueducto Tajo-Segura.



3.4 3.4 Postrasvase Tajo-Segura

Las aguas procedentes del trasvase del Tajo con el Segura desembocan en un embalse del río Mundo, afluente del Segura, llamado embalse del Talave. Las aguas continúan desde este embalse hasta llegar al embalse de Camarillas. Aguas abajo, el río Mundo se encuentra con el Segura, en el que las aguas desembocan en el embalse de Azud de Ojós.

El embalse de Azud de Ojós se encuentra en el término municipal de Blanca. Dicho embalse tiene una capacidad útil aproximada de 1.5 hm³. En la Tabla 4.1 se muestran algunas características del embalse de Azud de Ojós. A partir de éste, se redistribuye el agua mediante dos grandes conducciones: Canal Principal de la Margen Derecha y Canal Principal de la Margen Izquierda.

Tabla 4.1. Características del embalse de Azud de Ojós

Embalse Azud de Ojós	
Provincia	Murcia
Término municipal	Blanca
Cuenca hidrográfica	Segura
Cauce en la que se encuentra	Río Segura
Superficie de la cuenca hidrográfica (km^2)	985,60
Superficie del embalse a Nivel Máximo Normal (ha)	85,00
Capacidad (hm^3)	2850,00

El Canal Principal de la Margen Derecha, de 85 kilómetros, se tiene que ganar una elevación de 150 metros de altura para llegar al embalse del Mayés que funciona como un depósito regulador. Permite que el agua continúe en canal en dirección hacia el valle del Guadalentín hasta los alrededores de

Alhama, lugar donde existe una nueva elevación de 115 metros para llegar a Lorca y al valle del Almanzora, donde se encuentra un embalse regulador de cola.

El embalse del Mayés tiene la finalidad de atender a los riegos de la zona V, Comarca de Mula, Valle del Guadalentín y Almería. También suministra los abastecimientos de Alcantarilla, Lorca y Almería a través de la Mancomunidad de los Canales de Taibilla.

Tabla 4.2. Características del embalse de Mayés

Embalse de Mayés	
Provincia	Murcia
Término municipal	Ojos
Cuenca hidrográfica	Rambla del Mayés
Cauce en la que se encuentra	Segura
Superficie de la cuenca hidrográfica (km²)	12,65
Superficie del embalse (ha)	17,11
Volumen del embalse (hm³)	1,50

El Canal de la Margen Derecha consta de cuatro tramos:

- Tramo I: Ojós - Mayés.
- Tramo II: Mayés - Impulsión de Alhama.
- Tramo III: Alhama – Lorca.
- Tramos IV: Lorca – Almanzora.

El Canal Principal de la Margen Izquierda es de 82 kilómetros. Sigue una dirección prácticamente paralela al río Segura. Aguas abajo, se bifurca para continuar; por un lado, hasta el embalse de Crevillente, situado en el Barranco del Bosch y con una capacidad de 13 hm³, que permite la regulación de los riegos en las zonas de Riegos de Levante Margen Izquierda. Actúa como depósito regulador.

Tabla 4.3. Características del embalse de Crevillente

Embalse de Crevillente	
Provincia	Alicante
Término municipal	Crevillente
Cuenca hidrográfica	Júcar
Cauce en la que se encuentra	Barranco del Bosch
Superficie de la cuenca hidrográfica (km²)	11,80
Superficie del embalse (ha)	90,87
Volumen del embalse (hm³)	12,78

Por otra parte, cruza perpendicularmente el valle del Segura para llegar al embalse de la Pedrera; situado en la Rambla de Alcoriza en el término municipal de Orihuela, Alicante, con una capacidad de 250 hm³ y una superficie de 1405 hectáreas. La pedrera es un embalse regulador de cola, para los riegos y abastecimientos de las zonas de La Pedrera y Campo de Cartagena.

Tabla 4.4. Características del embalse de La Pedrera

Embalse de La Pedrera	
Provincia	Alicante
Término municipal	Orihuela
Cuenca hidrográfica	Rambla de Alcoriza
Cauce en la que se encuentra	Rambla de Alcoriza
Superficie de la cuenca hidrográfica (km²)	34,84
Superficie del embalse (ha)	1405,00
Volumen del embalse (hm³)	305,00

Tabla 4.5. Distribución de dotaciones trasvasadas en la primera fase y superficies de regadío atendidas.

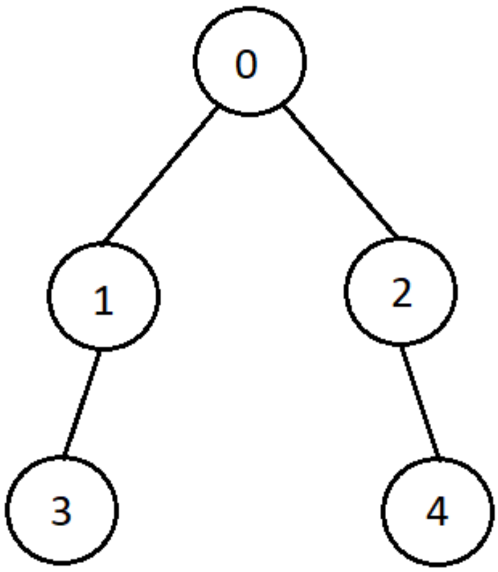
Destino de las aguas trasvasadas	hm³ anuales	Regadíos		
		Nuevos	Redotados	Total
Para regadíos	400	71.072	62.284	133.356
Vega alta y media del Segura	65	9.451	8.927	18.378
Regadíos de Mula y su comarca	8	1.500	1.050	2.550
Lorca y valle del Guadalentín	65	6.731	19.214	25.945
Riegos de Levante, margen izquierda y derecha, vegas bajas del Segura y saladares de Alicante	125	27.390	23.293	50.683
Campo de Cartagena	122	23.000	9.800	32.800
Valle del Almanzora, en Almería	15	3.000		3.000
Para abastecimientos	110			
Pérdidas (15% del total)	90			
Total primera fase	**600**	**71.072**	**62.284**	133.356

Fuente: Ley 52/1980, disposición adicional primera; Sandoval (1989:28)

4 ESTRUCTURA DEL POSTRASVASE APLICADA AL JUEGO

A partir del embalse de Azud de Ojós, se puede decir que el postrasvase comienza a adoptar una forma piramidal debido a los usuarios a los que tiene que abastecer. Después de dicho embalse, las aguas del trasvase se dividen para tomar dos caminos diferentes, el Canal Principal de la Margen Derecha y el canal Principal de la Margen izquierda. A partir de aquí, cada canal redistribuye el agua hacia sus respectivos destinos.

Figura 4.1. Estructura postrasvase aplicado al juego.



Se han definido cinco jugadores correspondientes a las demandas de agua para uso consuntivo. Estos 5 jugadores son:

- Jugador 0: es el peón superior de la estructura piramidal del postrasvase. Representado por el tramo que hay desde el embalse del Talave hasta el embalse de Azud de Ojós. Este jugador se quedará con una parte de agua para sus propios recursos y la otra parte del agua la repartirá siguiendo la demanda de sus receptores.
- Jugador 1: pertenece al segundo escalón del postrasvase. Representado por el embalse de Mayés, embalse que forma parte del Canal Principal de la Margen Derecha. Al igual que el

jugador 0, se quedará con una parte del agua recibida y otra la repartirá a sus respectivos destinos.

- Jugador 2: junto con el jugador 1, forma parte del segundo escalón del postrasvase. Representado por dos embalses que se encuentran en el Canal Principal de la Margen Izquierda. Estos usuarios son el embalse de Crevillente y el embalse de La Pedrera. Su uso del agua será igual que la de los jugadores anteriores, una parte se la quedará y otra la repartirá.
- Jugador 3: situado en el tercer escalón del postrasvase. Representado por los destinos del Canal Principal de la Margen Derecha. Estos son: los riegos de la Zona V, comarca de Mula, Valle del Guadalentín (Sangonera, Librilla, Alhama, Totana y Lorca) y Almería. También suministra los abastecimientos de Alcantarilla, Lorca y Almería a través de la Mancomunidad de los Canales de Taibilla.
- Jugador 4: pertenece al tercer escalón de esta forma piramidal. Representado por los destinos de los embalses de Crevillente y La Pedrera. El embalse de Crevillente permite la regulación de los riegos de las zonas de Riegos de Levante Margen Izquierda. Por otro lado, el embalse de La Pedrera tiene como finalidad los abastecimientos y riegos de las zonas de La Pedrera y Campo de Cartagena.
- El modelo será el siguiente.
    - En primer lugar se tendrá que calcular la función característica la cual dependerá de la situación del jugador en la jerarquía, de la cantidad de agua que necesite y del uso de las insfraestructuras. Esta función característica se calculará con detalle en la próxima sección

Usaremos el valor coalicional de Owen para determinar el pago de cada uno de los agentes. Este es un reparto a dos niveles (o en dos etapas), en cada uno de los cuales se utiliza como regla de asignación el valor de Shapley. En primer lugar, las clases o coaliciones a priori juegan el problema cociente y a continuación el coste asignado a cada clase o elemento de la particiaón se reparte entre sus miembros a través del problema interno (P_a, c_a) donde P se refiere a elemento de la partición al que pertenece el jugador y c es el juego cociente.

- Los elementos de la partición en nuestro caso son los llamados niveles 0, 1, 2.
- El juego cociente se hará sobre estos niveles
- Los jugadores de cada nivel serán nivel 1 el jugador 0, nivel 2 jugadores 1 y 2 y nivel tres jugadores 3 y 4.

- Realmente hay más jugadores en cada nivel pero hemos supuesto que si por ejemplo junto al 3 hay p jugadores más todos se reparten el pago del jugador 3 que actúa como representante.
- Al final el valor coalicional de Owen nos dará una idea de cómo repartir los gastos del uso del agua.

5 APLICACIÓN DEL MODELO

5.1 Costes de la función caractarística

5.1.1 Agua

Se puede decir que en la actualidad los precios, en España, del agua son bajos, tanto en el agua destinada para uso urbano, por la existencia de subvenciones públicas, como en los servicios destinados a riego, ya que es alta la importancia de los servicios de captación, embalse y transporte de aguas superficiales cuyos costes son reducidos.

Debido al aumento del turismo, el agua para consumo urbano (8-10% del consumo total de agua) se prevé que aumente en las zonas donde es más escasa y se emplea con finalidades de ocio.

En España, los usos del agua se distribuyen principalmente en;

- Regadío: 80% del total del consumo.
- Abastecimiento a núcleos urbanos: 14% total del consumo.
- Destinado a la industria: 6% total del consumo.

5.1.2 Infraestructura

Los costes de infraestructuras están compuestos por los diferentes costes tanto del mantenimiento como del uso de los embalses, presas, estaciones de bombeos y canales que componen el postrasvase Tajo-Segura.

5.2 Cálculo de la función característica

Teniendo en cuenta los dos principales costes del trasvase descritos en el apartado anterior y los demás parámetros nombrados abajo, podemos definir la función característica del juego para las diferentes coaliciones. Se denotara la función característica como v(S), siendo S cada una de las coaliciones posibles del juego.

- a: coste del agua.
- b: coste de infraestructura.
- C_0: cantidad de agua que le llega al jugador 0.

- C_1: cantidad de agua que reparte el jugador 0.
- C_{11}: cantidad de agua que le llega al jugador 1.
- C_{12}: cantidad de agua que le llega al jugador 2.
- D_1: cantidad de agua que le llega al jugador 3.
- D_2: cantidad de agua que le llega al jugador 4.
- p: porcentaje de agua que reparte el jugador 0.
- r_1: porcentaje de agua que reparte el jugador 1.
- r_2: porcentaje de agua que reparte el jugador 2.
- q_1: porcentaje de agua que le llega al jugador 1.
- q_2: porcentaje de agua que le llega a jugador 2.

Restricciones:

$$0 < p < 1;$$

$$q_1 \geq 0$$

$$q_2 \geq 0$$

$$q_1 + q_2 = 1$$

$$0 < r_1 < 1$$

$$0 < r_2 < 1$$

Tabla 5.1. Cantidades de agua de los jugadores

	Cantidad de agua		
Jugador	Llega	Se queda	Reparte
0	C_0	$(1-p)C_0$	$C_1 = p * C_0$
1	$C_{11} = q_1 * C_1$	$(1-r_1) * C_{11}$	$D_1 = r_1 * C_{11}$
2	$C_{12} = q_2 * C_1$	$(1-r_2) * C_{12}$	$D_2 = r_2 * C_{12}$
3	$D_1 = r_1 * C_{11}$	$D_1 = r_1 * C_{11}$	-
4	$D_2 = r_2 * C_{12}$	$D_2 = r_2 * C_{12}$	-

En la Tabla 5.1 podemos ver la cantidad de agua que le llega, se queda y reparten los jugadores de nuestro modelo.

Posibles combinaciones de un solo jugador: $\binom{5}{1} = 5$

$$v(0) = a(1-p)C_0$$

$$v(1) = b + (a+1)(1-r_1)C_{11}$$

$$v(2) = b + (a+1)(1-r_2)C_{12}$$

$$v(3) = b + (a+2)D_1$$

$$v(4) = b + (a+2)D_2$$

Posibles combinaciones con 2 jugadores: $\binom{5}{2} = 10$

$$v(01) = a(1-p)C_0 + b + (a+1)(1-r_1)C_{11}$$

$$v(02) = a(1-p)C_0 + b + (a+1)(1-r_2)C_{12}$$

$$v(03) = a(1-p)C_0 + b + (a+2)D_1$$

$$v(04) = a(1-p)C_0 + b + (a+2)D_2$$

$$v(12) = \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12}$$

$$v(13) = \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_1$$

$$v(14) = \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_2$$

$$v(23) = \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1$$

$$v(24) = \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_2$$

$$v(34) = \frac{b}{2} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

Posibles combinaciones con 3 jugadores: $\binom{5}{3} = 10$

$$v(012) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12}$$

$$v(013) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_1$$

$$v(014) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_2$$

$$v(023) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1$$

$$v(024) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_2$$

$$v(034) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{2} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

$$v(123) = \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1$$

$$v(124) = \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_2$$

$$v(234) = \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

$$v(134) = \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

Posibles combinaciones con 4 jugadores: $\binom{5}{4} = 5$

$$v(0123) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1$$

$$v(0124) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_2$$

$$v(0134) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

$$v(0234) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{3} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

$$v(1234) = \frac{b}{4} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

Posibles combinaciones con 5 jugadores: $\binom{5}{5} = 1$

$$v(01234) = a(1-p)C_0 + \frac{b}{4} + (a+1)(1-r_1)C_{11} + (a+1)(1-r_2)C_{12} + (a+2)D_1 + (a+2)D_2$$

Función por niveles:

$$v^p(1) = v(0)$$
$$v^p(2) = v(12)$$
$$v^p(3) = v(34)$$
$$v^p(12) = v(012)$$
$$v^p(13) = v(034)$$
$$v^p(23) = v(1234)$$
$$v^p(123) = v(01234)$$

Para este trabajo, se ha realizado un caso ficticio dando valores a los parámetros, los cuales se pueden ver en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Valores de los parámetros utilizados

Parámetros	Valores
a	1,1
b	5
p	2/3
r_1	0,875
r_2	0,6
q_1	0,6
q_2	0,4
C_0	30
C_1	20
C_{11}	12
C_{12}	8
D_1	10,5
D_2	4,8

Tabla 5.3. Valores de las cantidades de agua de los jugadores para el caso realizado

Cantidad de agua			
Jugador	Llega	Se queda	Reparte
0	30	10	20
1	12	1,5	10,5

2	8	3,2	4,8
3	10,5	10,5	-
4	4,8	4,8	-

Desarrollando las ecuaciones

$$v(0) = 1{,}1 * 10 = 11$$
$$v(1) = 5 + 2{,}1 * 1{,}5 = 8{,}15$$
$$v(2) = 5 + 2{,}1 * 3{,}2 = 11{,}72$$
$$v(3) = 5 + 3{,}1 * 10{,}5 = 37{,}55$$
$$v(4) = 5 + 3{,}1 * 4{,}8 = 19{,}88$$

$$v(01) = 11 + 5 + 3{,}15 = 19{,}15$$
$$v(02) = 11 + 5 + 6{,}72 = 22{,}72$$
$$v(03) = 11 + 5 + 22{,}05 = 38{,}05$$
$$v(04) = 11 + 5 + 14{,}88 = 30{,}88$$
$$v(12) = 2{,}5 + 3{,}15 + 6{,}72 = 12{,}37$$
$$v(13) = 2{,}5 + 3{,}15 + 22{,}05 = 27{,}7$$
$$v(14) = 2{,}5 + 3{,}15 + 14{,}88 = 20{,}53$$
$$v(23) = 2{,}5 + 6{,}72 + 22{,}05 = 31{,}27$$
$$v(24) = 2{,}5 + 6{,}72 + 14{,}88 = 24{,}1$$
$$v(34) = 2{,}5 + 22{,}05 + 14{,}88 = 39{,}43$$

$$v(012) = 11 + 2{,}5 + 3{,}15 + 6{,}72 = 23{,}37$$
$$v(013) = 11 + 2{,}5 + 3{,}15 + 22{,}05 = 38{,}7$$
$$v(014) = 11 + 2{,}5 + 3{,}15 + 14{,}88 = 31{,}53$$
$$v(023) = 11 + 2{,}5 + 6{,}72 + 22{,}05 = 42{,}27$$
$$v(024) = 11 + 2{,}5 + 6{,}72 + 14{,}88 = 35{,}1$$
$$v(034) = 11 + 2{,}5 + 22{,}05 + 14{,}88 = 50{,}43$$
$$v(123) = 1{,}67 + 3{,}15 + 6{,}72 + 22{,}05 = 33{,}59$$

$$v(124) = 1{,}67 + 3{,}15 + 6{,}72 + 14{,}88 = 26{,}42$$
$$v(234) = 1{,}67 + 6{,}72 + 22{,}05 + 14{,}88 = 45{,}32$$
$$v(134) = 1{,}67 + 3{,}15 + 22{,}05 + 14{,}88 = 41{,}75$$

$$v(0123) = 11 + 1{,}67 + 3{,}15 + 6{,}72 + 22{,}05 = 44{,}59$$
$$v(0124) = 11 + 1{,}67 + 3{,}15 + 6{,}72 + 14{,}88 = 37{,}42$$
$$v(0134) = 11 + 1{,}67 + 3{,}15 + 22{,}05 + 14{,}88 = 52{,}75$$
$$v(0234) = 11 + 1{,}67 + 6{,}72 + 22{,}05 + 14{,}88 = 56{,}32$$
$$v(1234) = 1{,}25 + 3{,}15 + 6{,}72 + 22{,}05 + 14{,}88 = 48{,}05$$

$$v(01234) = 11 + 1{,}25 + 3{,}15 + 6{,}72 + 22{,}05 + 14{,}88 = 59{,}05$$

$$v^p(1) = v(0) = 11$$
$$v^p(2) = v(12) = 12{,}37$$
$$v^p(3) = v(34) = 39{,}43$$
$$v^p(12) = v(012) = 23{,}37$$
$$v^p(13) = v(034) = 50{,}43$$
$$v^p(23) = v(1234) = 48{,}05$$
$$v^p(123) = v(01234) = 59{,}05$$

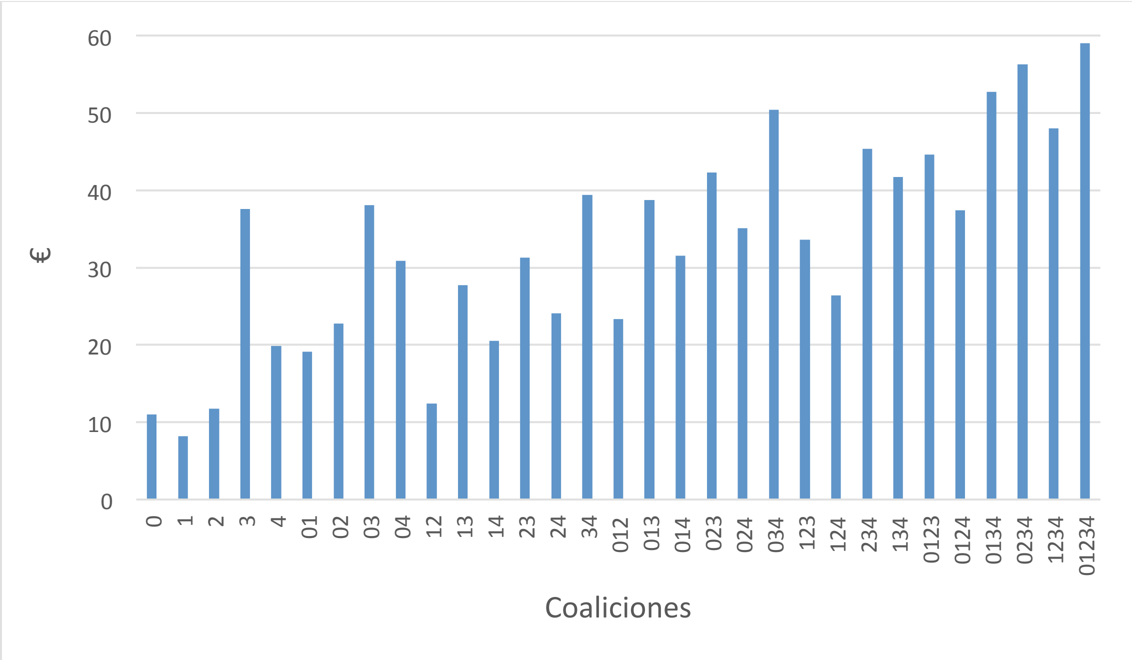
En la Tabla 5.4 se resume el coste calculado para cada una de las coaliciones del juego y a continuación, en la Figura 5.1, se muestra el grafico relativo a la función característica para los valores del coste calculados.

Tabla 5.4. Función característica para las distintas coaliciones.

Coalición	Coste
0	11
1	8,15
2	11,72
3	37,55

4	19,88
01	19,15
02	22,72
03	38,05
04	30,88
12	12,37
13	27,7
14	20,53
23	31,27
24	24,1
34	39,43
012	23,37
013	38,7
014	31,53
023	42,27
024	35,1
034	50,43
123	33,59
124	26,42
234	45,32
134	41,75
0123	44,59
0124	37,42
0134	52,75
0234	56,32
1234	48,05
01234	59,05

Figura 5.1. Gráfico relativo a la función característica para los valores del coste calculados.



5.3 Asignación de costes

Una vez calculada la función característica del juego se va a determinar la asignación del coste de los servicios calculados mediante la aplicación del valor de Owen.

$$\phi_j(v) = \sum_{\substack{H \subset M \\ i \notin H}} \sum_{\substack{S \subset P_i \\ j \notin S}} \frac{h!\,(m-h-1)!\,s!\,(p_i - s - 1)!}{m!\,p_i!} \left(v(H \cup S \cup j) - v(H \cup S)\right)$$

Donde:

- $\phi_j(v)$: coste asignado al jugador j.
- M: conjunto de precoaliciones.
- P_i : Particiones del conjunto de jugadores. Se les llama precoaliciones.
- H: estructura de permiso.
- S: coalición.
- h = $|H|$

- $m = |M|$
- $s = |S|$
- $p_i = |P_i|$

Para determinar el valor de Owen hemos utilizado un programa informático llamado *In Game Theory Allocation: Tools for Calculating Allocations in Game Theory.* Consiste en un software en el que pueden ser modeladas muchas situaciones como situaciones teóricas de juego. Se incluyen algunos procedimientos para calcular las reglas de asignación más importantes de la Teoría de Juegos, como por ejemplo, el valor de Owen y el valor de Shapley, entre muchos. Debemos definir como argumento de entrada el valor de las uniones de los jugadores involucrados con la función característica del juego.

En la Tabla 5.5 se pueden ver los valores de pago asociados a los jugadores en el juego.

Tabla 5.5. Valores de Owen

Jugador	Valor de Owen	Porcentaje correspondiente (%)
0	2,72	4,6
1	12,34	20,9
2	14,72	24,9
3	20,36	34,5
4	8,91	15,1
Total	59,05	

La Figura X muestra el reparto de coste entre los jugadores. Como se puede ver, el jugador 3 es el que más tiene que pagar para poder utilizar los recursos hídricos del trasvase.

Figura 5.2. Valores de Owen

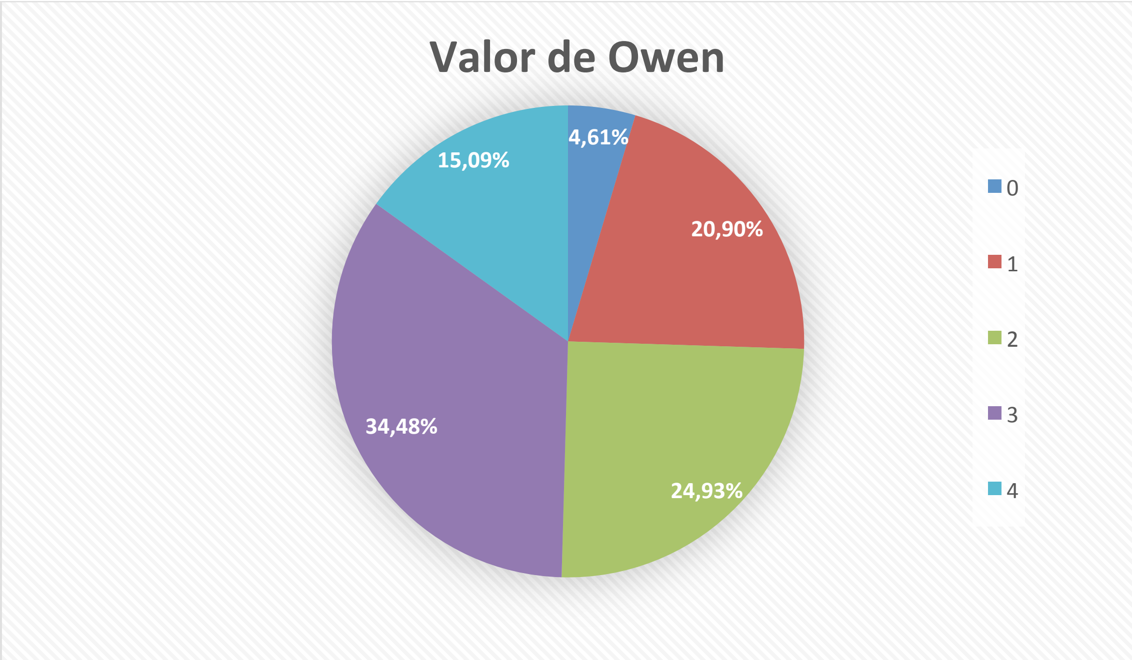
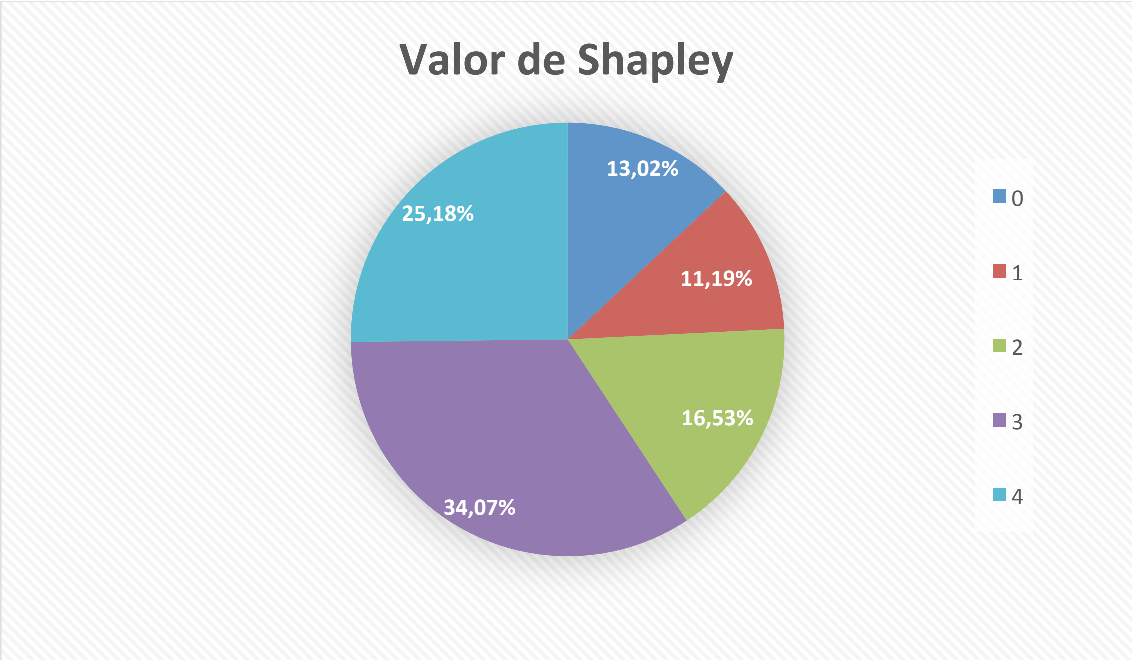


Tabla 5.6. Valores de Shapley.

Jugador	Valor de Shapley	Porcentaje correspondiente (%)
0	7,69	13
1	6,61	11,2
2	9,76	16,5
3	20,12	34,1
4	14,87	25,2
Total	59,05	

Figura 5.3. Valores de Shapley

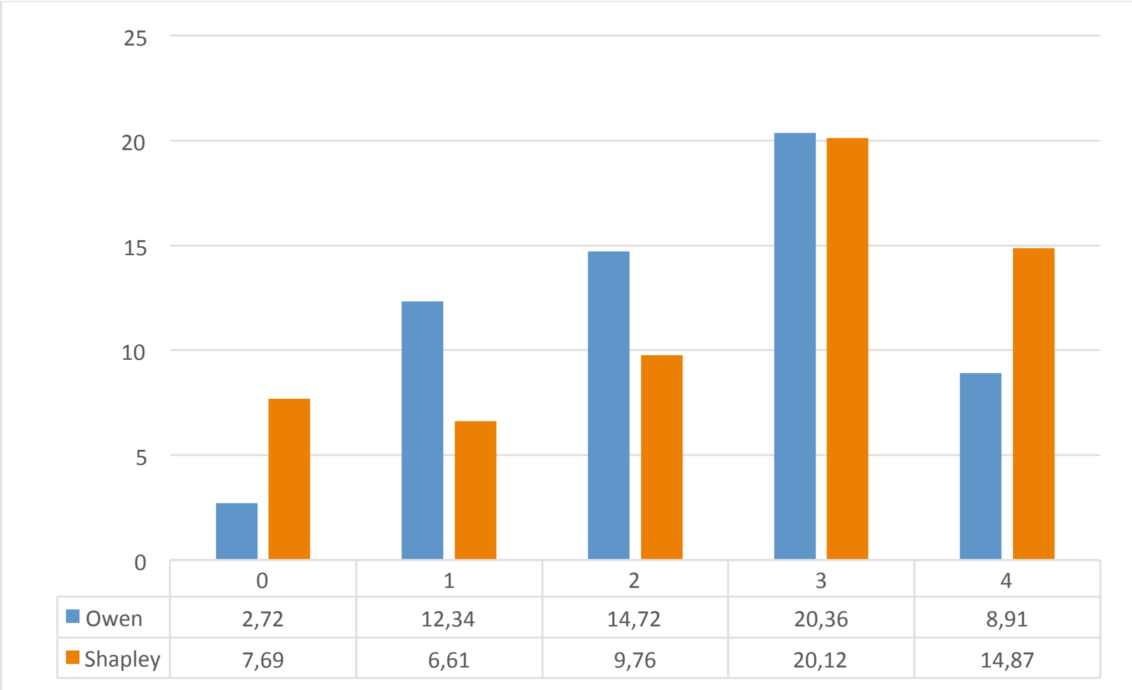


5.4 Comparación entre los valores de Owen y Shapley

Hasta ahora, una coalición ha representado a un conjunto de agentes que trabajaron por su cuenta. En una estructura de coaliciones, las diferentes coaliciones están destinadas a trabajar de forma independiente. También podemos interpretar que una coalición representa a un grupo de agentes que es más probable que trabajen juntos dentro de un grupo más grande de agentes (debido a afinidades personales o políticas). A los miembros de una coalición no les importa trabajar con otros agentes, pero quieren estar juntos y negociar su recompensa juntos, lo que puede mejorar su poder de negociación. Esta es la idea utilizada en juegos con uniones a priori. Formalmente, un juego con uniones a priori es similar a un juego con estructura de coaliciones: consiste en un triplete (N, v, S) cuando (N, v) es un juego TU y S es una estructura de coaliciones. Sin embargo, suponemos que se forma la gran coalición. El problema es nuevamente definir una distribución de pagos.

Owen [¿] propone un valor que se basa en la idea del valor de Shapley. Los agentes forman la gran coalición uniéndose uno por uno. En el valor de Shapley, se permiten todas las órdenes de unión posibles. En el valor de Owen, un agente al que me puedo unir solo cuando el último agente que se unió es miembro de la coalición de i o cuando los últimos agentes (j_1,..., j_k) que se unieron antes formaron una coalición en S. Esto es formalmente capturado utilizando la noción de consistencia con una estructura de coaliciones.

Figura 5.4. Comparación entre los valores de Owen y Shapley



	0	1	2	3	4
Owen	2,72	12,34	14,72	20,36	8,91
Shapley	7,69	6,61	9,76	20,12	14,87

6 CONCLUSIONES

El reparto de un bien como el agua es un problema importante que necesita de una rápida solución debido a que es un producto de primera necesidad tanto a nivel agrícola como urbano.

En el caso del trasvase del Tajo-Segura hay dos problemas bien diferenciados.

El primero es que debido a las sequias periódicas que sufre la Cuenca del Segura hace que a veces el volumen de agua que se debe traspasar en poco tiempo es mucha afectando a los regantes de la Cuenca del Tajo.

El Segundo es que hay muchos regantes en la zona del Segura debido a que es una comarca donde se cultivan muchas hortalizas y árboles frutales. De hecho la economía local de la comarca es básicamente agrícola.

En particular ha habido denuncias en este sentido de los regantes de ambas cuencas.

En este trabajo hemos usado un método basado en uniones a priori de regantes en una situación de cuatro jugadores y basado en una función característica calculada en function del uso de infraestructuras del trasvase, del nivel de la coalición y de la cantidad de agua que necesita cada cual.

- La primera conclusion es que en nuestra situación, que es real, el jugador 3 : situado en el tercer escalón del postrasvase. Representado por los destinos del Canal Principal de la Margen Derecha. Estos son: los riegos de la Zona V, comarca de Mula, Valle del Guadalentín (Sangonera, Librilla, Alhama, Totana y Lorca) y Almería. También suministra los abastecimientos de Alcantarilla, Lorca y Almería a través de la Mancomunidad de los Canales de Taibilla es el que debe pagar más por el agua que necesita .
- Por otro lado el jugador 0 (es el peón superior de la estructura piramidal del postrasvase. Representado por el tramo que hay desde el embalse del Talave hasta el embalse de Azud de Ojós. Este jugador se quedará con una parte de agua para sus propios recursos y la otra parte del agua la repartirá siguiendo la demanda de sus receptores) es el que menos paga. Esto en parte es debido a que está en el nivel más elevado de la estructura.
- Los otros tres jugadores están aproximadamente al mismo nivel, pagando menos los que están a más altura de la estructura.
- Hemos comparado con el valor de Shapley de los jugadores. Este valor dispersa más el pago de los jugadores y no tiene en cuenta la estructura. Por ello pensamos que el valor de Owen

es major que el de Shapley debido a que tiene en cuenta la posición en la estructura y esto lo hace más justo.

- Consideramos que este procedimiento, siempre que se ajusten los factores de necesidad de agua, de uso de estructuras y de coaliciones entre jugadores finales se ajusta muy bien a este problema y reparte los gastos de una manera mucho más equitativa.

7 BIBLIOGRAFÍA

1.Shapley, Lloyd S., A Value for n-Person Games. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1952. https://www.rand.org/pubs/papers/P0295.html. Also available in print form.

2. R. M. Thrall W. F. Lucas. N‐person games in partition function form First published: March 1963

3. R. Mayerson, Graphs in cooperative games. Mathematics Operation Researchs. 1977.

4. Kim Hang Pham Do & Henk Norde, 2007. "**The Shapley Value For Partition Function Form Games**," International Game Theory Review (IGTR), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., vol. 9(02), pages 353-360.

5. Topics in Game Theory by Bolger, Edward M. (2006) Paperback

6. Values for environments with externalities - The average approach, by I. Macho-Stadler, D. Pérez-Castrillo, and D. Wettstein, *Games and Economic Behavior* 108, 49-64, 2018.

7. G. de Clippel and R. Serrano, "Marginal Contributions and Externalities in the Value," *Econometrica* **76**, (2008), 1413-1436.

8. The Cooperative Game Theory of Networks and Hierarchies. Authors: **Gilles**, Robert P.

9. G. Owen, “Values of games with a priori unions,” in Essays in Mathematical Economics and Game Theory, R. Henn and O. Moeschlin, Eds., pp. 76–88, Springer, Berlin, Germany, 1977.

10. Confederación hidrográfica del Tajo

11. Confedereación hidrográfica del Segura.

12. Impacto social, económico y medioambiental del Trasvase Tajo-Segura. Joaquín Melgarejo Moreno Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales Universidad de Alicante.